AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS COMO INDICADORES CONTRIBUINTES DA DETERMINAÇÃO DA FRAGILIDADE POTENCIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTISSÍMO IGUAÇU – PR

Sandro José BRISKI [1]
Eduardo SALAMUNI [2]
Leonardo José Crdeiro dos SANTOS [3]

RESUMO

Considerando o comportamento e distribuição dos elementos constituintes do sistema ambiental, ressalta-se a importância das relações que se estabelecem entre os aspectos geomorfológicos e geológicos associados às características e condições da rede de drenagem superficial. Tais relações podem ser usadas como suporte para a determinação do grau de estabilidade natural de unidades territoriais definidas por bacias hidrográficas de mananciais. Desta forma este trabalho tem o objetivo de utilizar os parâmetros morfométricos como informações qualiquantitativas conjunturais das condições da drenagem da bacia hidrográfica do Altíssimo Iguaçu, no Estado do Paraná. Informações estas que serão utilizadas como subsídio para a determinação da Fragilidade Potencial e Emergente deste sistema ambiental, considerando suas características naturais. Justifica-se a escolha desta área pela importância estratégica que a mesma apresenta para a região como, principal fonte de abastecimento público de água tratada para Curitiba, e parte significativa de sua região metropolitana. Para tanto serão utilizados os apontamentos descritos por Christofoletti (1980), associados às técnicas das geotecnologias, através, do sensoriamento remoto e do geoprocessamento, para avaliação dos parâmetros da morfometria da drenagem, relacionadas às características geológicas e geomorfológicas na designação da compartimentação do grau de fragilidade ambiental. Através da análise destas relações, torna-se possível compartimentar a área em unidades diferenciadas quanto ao grau de estabilidade ambiental constituindo assim mecanismos adequados ao planejamento ambiental e gerenciamento territorial.

Palavras-Chave: geotecnologias, análise morfométrica, fragilidade ambiental e gestão territorial.

INTRODUÇÃO

No contexto atual das preocupações acerca das questões que envolvem o meio ambiente, e principalmente no que diz respeito à forma de ocupação e uso do solo, exploração e utilização de recursos naturais, a bacia hidrográfica representa uma unidade territorial eficaz para a realização de análises e diagnósticos bem como à aplicação de metodologias de estudos ambientais. Ressalta-se que tomando um recorte espacial estabelecido por uma bacia de drenagem, o mesmo representa um sistema aberto contento as características físicas, químicas, biológicas e da sociedade humana direta ou indiretamente, representando as propriedades do geossistema possuindo seus próprios atributos.

[1] Universidade Tuiuti do Paraná, Professor Doutorando, sbriski@ig.com.br.
[2] Universidade Federal do Paraná, Professor Doutor salamuni@ufpr.br
[3] Universidade Federal do Paraná, Professor Doutor santos@ufpr.br

Considerando estes fatores, o objetivo deste trabalho consiste em demonstrar a importância da utilização das características geológicas, geomorfológicas e pedológicas destacando fundamentalmente a importância da associação da análise morfométrica qualiquantitativa para auxiliar a designação do grau de Fragilidade Ambiental Potencial (relacionada à dinâmica natural do sistema ambiental) e Emergente (relacionada às modificações estabelecidades a partir das atividades humanas) em bacia hidrográfica de manancial. A área determinada para o desenvolvimento do estudo compreende a bacia hidrográfica do Altíssimo Iguaçu localizada no leste do Estado do Paraná, inserindo-se total ou parcialmente em seis municípios no leste da Região Metropolitana de Curitiba. Justifica-se a escolha desta área pela importância estratégica que a mesma apresenta para a região, como principal fonte de abastecimento público de água tratada para Curitiba, e parte significativa de sua região metropolitana, além, do seu potencial de utilização de recursos ambientais variados, e pelo forte adensamento populacional que vem ocorrendo nesta região, sobre locais com diferenciadas respostas quanto ao grau de Fragilidade Ambiental.

Em relação à análise do sistema ambiental evidencia-se que, o comportamento dinâmico hidrogeológico invariavelmente está sobre o efeito controlador das características geológicas, representadas pelas diferenciadas litologias, bem como, pela ocorrência de fraturas, tais como falhas ou diaclasamento. Considerando a evolução sistêmica e auto-reguladora dos elementos e fenômenos conjunturais da natureza, evidenciam-se os aspectos geomorfológicos como responsáveis pelas condições das características morfométricas dos fluxos de drenagem. Entretanto é inegável a relação estabelecida entre a geologia e os aspectos morfotectônicos com a geomorfologia.

Segundo Loczy (1980, p. 2) “a Geomorfologia liga-se à Geologia Estrutural e Tectônica de um modo biunívoco. Muitas vezes, através dos princípios estabelecidos pela primeira, consegue-se esclarecer determinadas estruturas e movimentos crustais. Por seu turno, a Geologia Estrutural auxilia o geomorfólogo a investigar o modelo da crosta terrestre que depende, além do clima e litologia, da estrutura”.

Os processos dinâmicos que ocorrem no interior da bacia hidrográfica como um todo, influenciam direta ou indiretamente os rios. Estas influências se dão em função da litologia, da cobertura vegetal e dos fenômenos condicionantes do clima, que, por sua vez, controlam a morfogênese das vertentes e o tipo de carga detrítica fornecida aos rios. Por esta razão o estudo analítico dos cursos de água só pode ser realizado adotando-se a perspectiva do sistema hidrográfico.

Estes elementos e fenômenos atuando em conjunto são responsáveis pela característica morfogenética da bacia hidrográfica, a qual pode apresentar dentro de uma mesma bacia hidrográfica padrões de distribuição espacial diferenciados, além do comportamento distinto relativo ao fluxo de energia e matéria. Resultando desta dinâmica organizacional, a disponibilidade hídrica na razão quantitativa e qualitativa da água considerando a mesma como um recurso natural.

Para a realização de programas de planejamento e gestão de recursos hídricos, ressalta-se a importância do conhecimento das feições e dos parâmetros morfométricos e geométricos do sistema de drenagem, tomando como unidade básica de estudos a bacia hidrográfica.

Segundo Jorge e Uehara (1998), a bacia hidrográfica de um rio, até a seção considerada, ou exutório, corresponde à área drenada por um conjunto de rios de ordem secundária convergindo para o rio principal, sendo delimitada pelo divisor de águas que é representado pelos pontos mais elevados do relevo que separam as bacias adjacentes. O conjunto de cursos de água, denominada de rede de drenagem, estrutura-se com todos seus canais, conduzindo a água e os detritos que lhe são fornecidos pelos terrenos da bacia hidrográfica.

A quantidade de água fornecida aos rios está na dependência das características físicas de sua bacia hidrográfica, da precipitação total do regime pluviométrico local, bem como das perdas em função da evapotranspiração e da infiltração.

As características físicas são definidas pelas feições morfológicas, representadas pelo tipo de relevo, forma da bacia, orientação e fator de inclinação da bacia de drenagem e pelos aspectos geológicos, representados pelas estruturas, tipos litológicos, manto de intemperismo e solos. Além destes aspectos, a cobertura vegetal e o tipo de ocupação da bacia exercem também importante influência nas relações entre infiltração e escoamento superficial em uma bacia hidrográfica.

Entre as características mensuráveis dos aspectos morfológicos de uma bacia, algumas representam fundamental importância geoambiental para definições de processos dinâmicos de curto prazo relacionados à forma de uso e ocupação do solo, permitindo apontar áreas com graus diferenciados de fragilidade potencial e emergente. Através da identificação destas áreas é possível definir programas de zoneamento ambiental e planejamento territorial.

O controle estabelecido heterogeneamente pela litologia e estruturas geológicas apresenta graus diferenciados de influência, considerando a formação e evolução pretérita e atual de cada unidade territorial representada por uma bacia hidrográfica.

Para efeitos de análise destas relações de influência, alguns parâmetros de condições morfométricas da bacia podem esclarecer através do comportamento e distribuição da drenagem superficial à quantificação destas relações, apontando a responsabilidade das estruturas geológicas e geomorfológicas nestes comportamentos, bem como efeitos indicadores de modificações ambientais podem ser estabelecidos em razão do modo de uso e ocupação do solo.

Para atingir o objetivo deste trabalho com eficiência e agilidade utilizou-se das geotecnologias através das técnicas do sensoriamento remoto e do geoprocessamento, que se constituíram em ferramentas eficazes no processo de espacialização, interconexão de informações e análise de informações ambientais.

Visando estabelecer o grau da influência geológica e estrutural relacionados à bacia hidrográfica do Altíssimo Iguaçu, alguns parâmetros morfométricos foram quantificados e analisados, tomando como unidades básicas nove sub-bacias conforme distribuição estabelecida e observada na Figura 1.

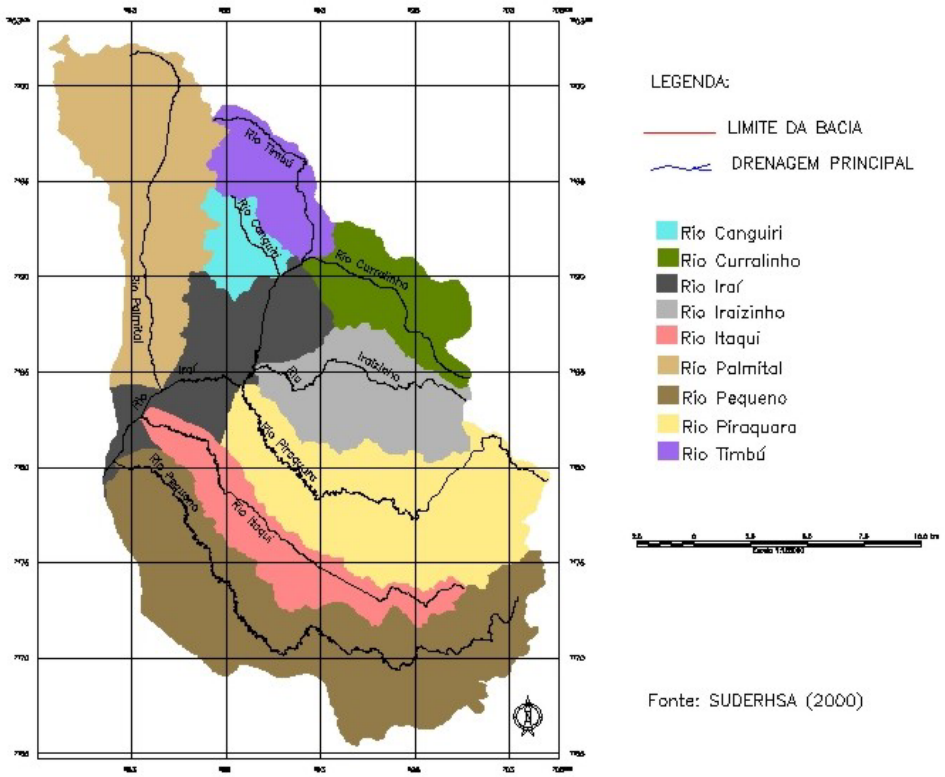

Figura 1. Distribuição das sub-bacias

MÉTODOS e TÉCNICAS

Conforme citado, os parâmetros morfométricos representam indicativos que podem esclarecer a morfogênese dos terrenos sobre os quais se estabelecem os comportamentos organizacionais hidrológicos de superfície e sub-superfície de uma bacia hidrográfica. Neste trabalho foram adotados alguns parâmetros morfométricos apresentados em Christofoletti (1980), procurando-se estabelecer uma avaliação entre os resultados obtidos e a influência das características geológicas da região. Estes resultados são utilizados para a atribuição de valores ao se cruzar informações lineares, estruturais, comportamentais e altimétricas, que podem ser correlacionadas a outros indicativos ambientais auxiliando na determinação do grau de Fragilidade Potencial e Emergente da região.

Os parâmetros aqui utilizados são necessários para possíveis análises interpretativas do controle geológico sobre a hidrografia associada à cobertura superficial e servem como indicativos para melhor adequação do uso do solo, determinado pela fragilidade potencial da região. Tais parâmetros são os seguintes:

a) Hierarquia fluvial

Parâmetro que se estabelece pela relação direta da distribuição da rede fluvial considerando a organização ordenada estabelecida pelo rio principal, seus afluentes e sub-afluentes. Segundo Christofoletti (1980, p. 106) a hierarquia fluvial "consiste no processo de se estabelecer à classificação de determinado curso de água (ou área drenada que lhe pertence) no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra". Sendo sua determinação realizada com o intuito de facilitar e tornar mais objetivo os estudos morfométricos (análise linear, areal e hipsométrica) sobre as bacias hidrográficas.

Várias são as propostas metodológicas para a realização da hierarquização fluvial destacando-se entre elas a de Horton[4] (1945) e a de Strahler[5] (1952) citados por Christofoletti (1980). Neste estudo optou-se em utilizar a proposta de Strahler (*op. cit*.) que é explicada da seguinte forma por Christofoletti (*op. cit*:):

Os canais menores, sem tributários, são considerados como de primeira ordem, compreendendo desde a nascente até sua confluência. A partir da confluência de dois canais de primeira ordem os canais são chamados de segunda ordem que só recebem os de primeira ordem; da confluência dos canais de segunda ordem surgem os canais de terceira ordem que podem receber canais de primeira e segunda ordem; os canais de quarta ordem surgem da confluência dos canais de terceira ordem e podem receber canais de ordens inferiores, e assim sucessivamente. A proposta de ordenação da hierarquia fluvial de Strahler (*op. cit.*) elimina o conceito de que o rio principal deve ter o mesmo número de ordem em toda sua extensão, ou seja, da nascente até sua foz além da ausência de obrigatoriedade de refazer a numeração a cada confluência. Tal procedimento pode ser observado na Figura 2. A quantidade de rios de determinada bacia hidrográfica considerando a proposta de Strahler (*op. cit.*) é representada pelo número de canais de primeira ordem. Em geral, pode-se considerar que os terrenos relativamente impermeáveis apresentam densa rede de drenagem, enquanto que os mais permeáveis possuem densidade menor.

[4] HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophycal approach to quantitative morphology. Geol. Soc. America Bulletin (1945), 56 (3), p. 275-370.
[5] STRAHLER, A. N. Hypsometric analysis of erosional topography. Geol. Soc. America Bulletin (1952), 63, p. 117 – 142.

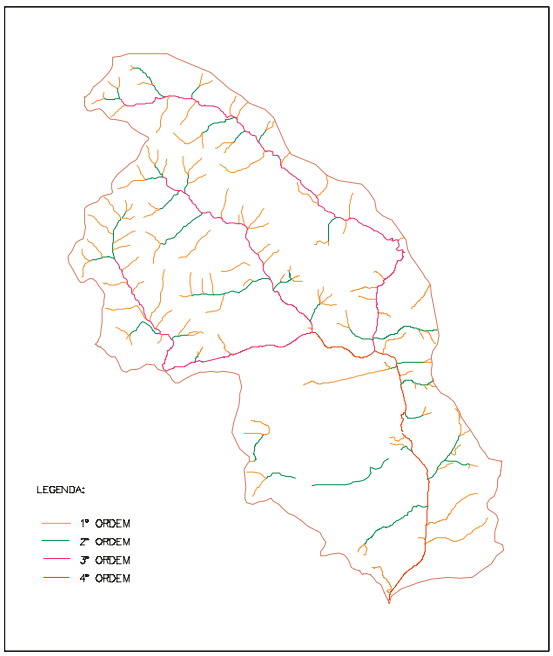

Figura 2. Exemplo da representação da hierarquia fluvial

b) Análise linear da rede hidrográfica

Na realização da análise linear englobam-se índices e relações relativas à rede hidrográfica, que necessariamente se efetuam a partir da mensuração obtida ao longo das linhas de escoamento dos canais fluviais inseridos na bacia hidrográfica. Várias podem ser estas relações quantitativas obtidas em função das relações lineares que se estabelecem na rede de drenagem. Neste trabalho foram descritas as seguintes:

Relação de bifurcação: segundo Horton (1945), é a relação entre o número total de segmentos de uma determinada ordem e o número total dos segmentos de ordem imediatamente superior. Tomando como parâmetro o sistema proposto por STRAHLER (1952), o resultado nunca pode ser inferior a dois. O cálculo é representado pela seguinte expressão:

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}}$$

Onde R_b é a relação de bifurcação, N_u representa o número de segmentos de determinada ordem e N_{U+1} é o número de segmentos da ordem imediatamente superior.

Com base na análise da relação de bifurcação, Horton (*op. cit.*) estabeleceu uma das leis da composição da drenagem, enunciada da seguinte maneira: “Em uma bacia determinada, a soma dos números de canais de cada ordem forma uma série geométrica inversa, cujo primeiro termo é a unidade de primeira ordem e a razão é a relação de bifurcação”.

A lei do número de canais estabelece-se sem considerar nenhuma mensuração, mas somente o ponto de origem e a confluência dos segmentos. O reconhecimento e a determinação com precisão dos cursos fluviais, que podem ser realizados a partir de imagens de satélite, fotografias aéreas, mapas ou no terreno, são fundamentais para a relação e o estabelecimento da lei do número de canais. Esclarece-se que o detalhamento e

precisão das informações estão diretamente ligados e podem variar em função da escala utilizada na confecção das cartas topográficas.

Outra questão importante a ser considerada é a distinção entre o escoamento fluvial e os canais pluviais. O primeiro apresenta-se marcado, nitidamente compondo uma rede de drenagem permanente, enquanto que o segundo é resultado do escoamento superficial imediato, considerando-se uma dada precipitação. Estes parâmetros são estabelecidos sobre as vertentes e não devem ser considerados no estabelecimento das redes hidrográficas.

Comprimento do rio principal: consiste na distância que se estabelece ao longo do curso de água desde sua desembocadura até determinada nascente. O problema encontrado para determinar este parâmetro mensurável reside na definição em se estabelecer qual é o rio principal em relação, às suas nascentes ou montante superior da drenagem pré-estabelecida.

Para a resolução deste problema, conforme citado em Christofoletti (1980, p. 111), podem ser considerados de forma prática ou com precisão, alguns direcionamentos como:

- aplicar os critérios determinados por Horton (*op. cit.)*, onde o canal de ordem mais elevada corresponde ao rio principal;

- em cada bifurcação, partindo da desembocadura, optar pelo ligamento de maior amplitude;

- a partir de cada confluência, depois da desembocadura, seguir o canal fluvial a montante situado na cota altimétrica mais baixa até atingir a nascente do segmento de primeira ordem localizada em posição altimétrica mais alta, no conjunto da bacia hidrográfica;

- curso de água mais longo, da desembocadura da bacia até determinada nascente, medido como a soma dos comprimentos dos seus ligamentos, Shreve[6] (1974) citado por Christofoletti (1980).

Considerando os critérios a serem utilizados evidencia-se a subjetividade e praticidade do funcionamento hidrológico dos critérios um e dois, enquanto que o terceiro critério exige determinação precisa das cotas altimétricas, oferecendo a possibilidade para análise das características topográficas. Já o quarto critério também apresenta praticidade interrelacionando-se com aspectos morfométricos e topológicos da rede de drenagem. Salienta-se, no entanto, que a aplicação de quaisquer dos critérios propostos, apresentou diferenças mínimas entre si, que em função da escala utilizada, considerando o tamanho da bacia hidrográfica a ser analisada, pode ser significante.

Optou-se em trabalhar com estes dois parâmetros na análise linear das sub-bacias do alto curso superior do rio Iguaçu, em função de que os resultados obtidos através destes parâmetros podem indicar o grau de evolução cronológica evolutiva do comportamento da drenagem estabelecida sobre o terreno, considerando a relação de bifurcação estabelecida ao longo do rio principal, relacionadas com a dissecação do relevo. Observando-se também as características litológicas, onde a incidência maior da distribuição de rede de drenagem pode ser relacionada ao número de bifurcações existentes em diferentes momentos ao longo do curso de água principal demonstrando a resistência dos corpos rochosos aos processos de intemperismo natural, e à permeabilidade dos mesmos.

c) Análise areal da rede hidrográfica

Para a realização da análise areal da bacia hidrográfica, englobou-se vários índices relacionados especificamente às medições planimétricas, além de medições lineares. Entre

6 SHEREVE, R. L. Variations of mainstream length with basin area in river networks. Water Resources Research (1974), 10 (6): p. 1167-1177.

os vários índices que podem ser obtidos através destas medições, trabalhou-se com os seguintes:

Área da bacia: considerada como toda a área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, projetada no plano horizontal, ou seja, representa a região ocupada pela rede de drenagem de uma determinada bacia hidrográfica. Esta mensuração pode ser obtida de diversas maneiras, porém as mais ágeis e eficazes são as realizadas com a utilização do planímetro e pelo uso de informações computacionais através de *softwares* específicos.

Forma da bacia: corresponde a semelhança existente entre a forma superficial da bacia hidrográfica projetada no plano horizontal, com uma figura geométrica qualquer. A fim de evitar a subjetividade na caracterização da forma das bacias, entre os vários processos propostos, o utilizado neste trabalho refere-se ao método proposto por Miller[7] (1953), citado por Christofoletti (1980), que define o índice de circularidade, que consiste em relacionar a área da bacia e a área de círculo de mesmo perímetro, empregando-se a seguinte fórmula:

$$Ic = \frac{A}{Ac}$$

Na qual, *Ic* representa o índice de circularidade; *A* é a área da bacia e *Ac* significa a área do círculo de perímetro igual ao da bacia considerada. O valor máximo de obtenção é igual a 1, sendo que, quanto maior o valor obtido, mais próxima da forma circular estará a bacia de drenagem.

Outra maneira de se estabelecer o fator de forma de uma bacia foi proposto por Lee e Salle[8] (1970) citados por ChristofolettI (1980), que sugerem a delimitação da bacia, independente da escala, traçando-se uma figura geométrica qualquer (círculo, triângulo, quadrado, etc.) desde que se possa cobrir da melhor maneira possível a área da referida bacia. Na seqüência, relaciona-se a área englobada simultaneamente pelas duas com a área total que pode pertencer à bacia e ou à figura geométrica, obtendo-se um índice de forma, aplicando a seguinte fórmula:

$$If = 1 - \frac{(\text{área } K \cap L)}{(\text{área } K \cup L)}$$

Onde *If* é o índice de forma; *K* é a área da bacia; *L* é a área da figura geométrica. Neste método, quanto menor for o índice, mais próximo da figura geométrica respectiva estará a forma da bacia.

É possível também se utilizar o fator de forma (K_f), proposta por Jorge e Uehara (1998) que representa a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia. A largura média obtém-se pela divisão da área da bacia (*A*, em Km^2) pelo seu comprimento (*L*, em Km). O comprimento da bacia está relacionado à extensão do curso de água mais longo, desde a sua desembocadura até suas nascentes mais distantes. Expressa-se o fator de forma pela seguinte fórmula:

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

7 MILLER, V. C. A quantitative geomorphic study of drainage basins characteristic in the Clinch Mountain area. Technical Report (1953), (3), Dept. Geology Columbia University.

8 LEE, D. R.; SALLE, G. T. A method of measuring shape. Geographical Review (1970), 60 (4), p. 555-563.

Observando-se o fator de forma de uma bacia conclui-se que, quando esta se apresenta baixa (por exemplo, estreita e longa), esta estará menos sujeita à inundações que outra de mesmo tamanho porém com maior fator de forma (por exemplo, circular).

Densidade de rios: representa a relação entre o número de rios ou canais de água e a área da bacia hidrográfica. Tem como finalidade comparar a freqüência e quantidade de canais de drenagem ocorrentes em determinada área com tamanho padrão podendo ser em Km^2, por exemplo. Esta relação foi primeiramente definida por Horton (1945) e pode ser calculada com a seguinte fórmula:

$$Dr = \frac{N}{A}$$

Sendo *Dr* a densidade de rios; *N* o número total de rios ou cursos de água e *A* a área da determinada bacia hidrográfica.

Utilizando os critérios de Strahler (1952), de ordenação da drenagem, o número de canais corresponderá à quantidade de canais de primeira ordem, pois implica que todo e qualquer rio procede de uma nascente.

A importância da distribuição e ocorrência dos canais de drenagem consiste em que este represente o comportamento hidrográfico de determinada área, em um de seus aspectos fundamentais, que é a capacidade de gerar novos cursos de água.

Densidade da drenagem: é a relação existente entre o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia hidrográfica. Índice inicialmente definido por Horton (1945), que pode ser expresso através da utilização da seguinte equação:

$$Dd = \frac{L_t}{A}$$

Onde *Dd* significa a densidade de drenagem; L_t representa o comprimento total dos canais de escoamento e *A* a área da bacia hidrográfica.

Segundo Christofoletti (1980) considerando um mesmo ambiente climático, o comportamento hidrogeológico das rochas terá repercussão na densidade de drenagem. Nas rochas onde a infiltração é menor há condições melhores para o escoamento superficial, criando possibilidades para a esculturação de canais, tal como entre as rochas clásticas de granulação fina, e, como conseqüência, densidade de drenagem mais elevada. O inverso ocorre com as rochas de granulometria grossa.

Pode representar também o grau de dissecação topográfica. Ou seja, onde ocorre a densidade de drenagem baixa, a presença de rios é menor, pois os solos são mais permeáveis, ocorrendo o predomínio da infiltração sobre o escoamento superficial. Quando a densidade de drenagem é mais alta, há maior números de rios, pois os solos são mais impermeáveis, ocorrendo predomínio do escoamento superficial sobre a infiltração.

Segundo BELTRAME (1994), a classificação da Densidade de Drenagem e Densidade de Rios, pode ser estabelecida de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1. Classificação dos valores de drenagem

CLASSIFICAÇÃO	VALORES
BAIXA	< 0,5
MEDIANA	0,5 – 2,0
ALTA	2,01 – 3,5
MUITO ALTA	> 3,5

Fonte: modificado de Beltrame (1994)

Coeficiente de manutenção: este índice proposto por Schumm[9] (1956) citado por Christofoletti (1980), tem por objetivo fornecer a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento. Pode- se considerar este como um dos principais parâmetros a serem quantificados em uma rede de drenagem, com fins ao planejamento territorial e ambiental, sendo possível ser calculado através da seguinte expressão, a fim de que seja significante na escala métrica:

$$Cm = \frac{1}{Dd} \cdot 1000$$

Onde *Cm* é o coeficiente de manutenção e *Dd* representa o valor da densidade de drenagem, expresso em metros.

d) Análise hipsométrica da rede hidrográfica

Este parâmetro representa a importância do relevo de uma bacia hidrográfica e, principalmente, a influência que exerce a declividade dos seus terrenos na velocidade do escoamento superficial, agindo, portanto, no tempo que a água pluvial leva para concentrar-se nos leitos fluviais, formadores da rede de drenagem da bacia. Segundo Christofoletti (1980 p. 117) "a hipsometria preocupa-se em estudar as interrelações existentes em determinada unidade horizontal de espaço no tocante a sua distribuição em relação às faixas altitudinais, indicando a proporção ocupada por determinada área da superfície terrestre em relação às variações altimétricas a partir de determinada isoipsa base".

Desta forma pode-se dizer que a curva hipsométrica é a representação gráfica do relevo médio de uma bacia constituindo o estudo das variações das elevações do terreno da bacia hidrográfica, tomando como referência o nível do mar. Para Jorge e Uehara (1998), a organização espacial dos rios está diretamente influenciada e controlada pelas características das estruturas geológicas e geomorfológicas da bacia de drenagem. Assim as altitudes das camadas, bem como outras estruturas geológicas tais como falhas e diáclases influem tanto na topografia e forma dos terrenos da bacia, como também no padrão de drenagem.

Justifica-se a importância do conhecimento dos índices de variação de inclinação das curvas hipsométricas de uma bacia na aplicação de estudos de processos erosivos, bem como para a elaboração de planos de zoneamento ambiental em relação ao uso e ocupação do solo.

Em relação à análise hipsométrica neste estudo foram tomados dois principais parâmetros:

Amplitude altimétrica máxima da bacia (H_m): Corresponde à diferença altimétrica entre a cota mais baixa do exutório da bacia e a altitude do ponto mais elevado de seu divisor topográfico. No entanto cabe salientar que dificuldades podem surgir na determinação destes valores, visto que, por vezes, a cota máxima pode representar apenas um ponto excepcional dentro da bacia, ou escarpas ou frentes montanhosas na qual nascem somente alguns canais da rede de drenagem. Isto pode mascarar a realidade da rugosidade do

9 SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. Geol. Soc. America Bulletin (1956), 67, p. 597-646.

relevo. É possível também que a cota máxima encontre-se próximo ao exutório da bacia, em faixas interfluviais, quando todo o restante do relevo encontra-se em cotas inferiores.

Nestes casos alguns procedimentos podem ser utilizados para amenizar estes efeitos de sombreamento da realidade como, por exemplo, considerar a magnitude da área da bacia para obter uma média com as cotas máximas dos divisores topográficos da mesma.

Relação de relevo: esta relação foi demonstrada inicialmente por Schumm (1956), citado por Christofoletti (1980, p. 120), consiste no relacionamento existente entre a amplitude altimétrica máxima de uma bacia e a maior extensão da referida bacia, tomando como medida a porção paralela à principal linha de drenagem.

Este parâmetro pode ser calculado pela seguinte equação:

$$Rr = \frac{H_m}{L_b}$$

Na qual *Rr* significa a relação de relevo, H_m representa a amplitude topográfica máxima e L_b o comprimento da bacia, sendo mais aconselhável à utilização do diâmetro geométrico da bacia, ou o comprimento do principal curso da drenagem superficial.

e) Padrões de drenagem da rede hidrográfica

O padrão de drenagem representa o arranjo e distribuição, em planta, dos cursos de água superficiais dentro de uma bacia hidrográfica. É possível em razão destes arranjos estabelecer um sistema de classificação dos rios que pode ser genética e ou geométrica.

Os padrões de drenagem apresentam-se como importante subsídio no indicativo da permeabilidade relativa do terreno e dos controles exercidos pelas estruturas e pelos diferentes tipos de rochas que atuam sobre a infiltração, modelos de arranjos de distribuição das águas superficiais e movimentação das águas subterrâneas. Segundo Jorge e Uehara (1998), o conhecimento da tipologia dos padrões, possibilitam a realização de algumas interpretações acerca da natureza dos terrenos, a disposição das camadas, as linhas de falhamento e os processos fluviais e climáticos predominantes.

Classificação genética: realizada em função da disposição dos rios em relação à altitude das camadas geológicas, podendo os mesmos ser classificados da seguinte forma (Figura 3):

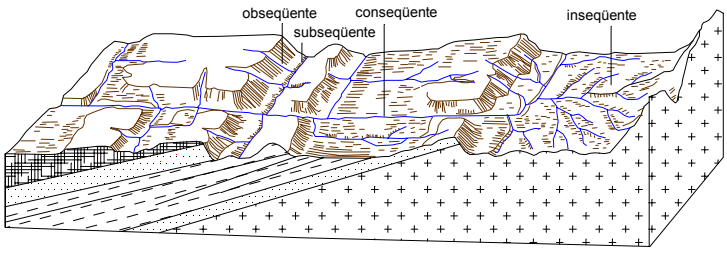

Figura 3. Classificação genética de drenagem

Fonte: Modificado de SUGUIO e BIGARELLA[10] (1990) citado por ABGE (1998)

10 SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. Ambientes Fluviais. 2° ed., Florianópolis: UFSC/UFPR, 1990.

rios conseqüentes – são rios que possuem seus canais determinados pela declividade do terreno, coincidindo, de modo geral, com o mergulho das camadas geológicas. Estes rios formam normalmente cursos retilíneos e drenagem paralela, em direção às baixadas do relevo.

rios subseqüentes – são os rios que apresentam o sentido de seu fluxo controlado pela estrutura rochosa, acompanhando invariavelmente uma zona de fraqueza, como uma falha, diaclasamento, junta, rochas com menor resistência, etc. Em áreas sedimentares apresentam-se perpendiculares à inclinação principal das camadas, ou seja, normalmente são perpendiculares aos rios conseqüentes.

rios obseqüentes – são os rios que ocorrem no sentido inverso à inclinação do mergulho regional das camadas geológicas, ou seja, em sentido oposto ao dos rios conseqüentes. Normalmente seus canais possuem pequena extensão, descendo de escarpas e fluindo até desaguar em rios subseqüentes.

rios resseqüentes – são os rios que possuem seu fluxo na mesma direção dos conseqüentes mas no entanto nascem em nível mais baixo. Geralmente nascem no reverso de escarpas e fluem até desaguar em rios subseqüentes.

rios inseqüentes – são os rios cujo os canais não apresentam relações com o controle geológico e estrutural visível na disposição espacial da drenagem. O fluxo de seus canais ocorre de acordo com as particularidades da morfologia, em direções variadas, assim normalmente se desenvolvem em rochas homogêneas, representadas tanto por sedimentos horizontais, como por rochas graníticas.

Classificação geométrica: realizada em função de critérios geométricos da disposição espacial dos rios e seus afluentes, sem haver qualquer conotação genética, podendo os mesmos ser classificados da seguinte maneira (Figura 4):

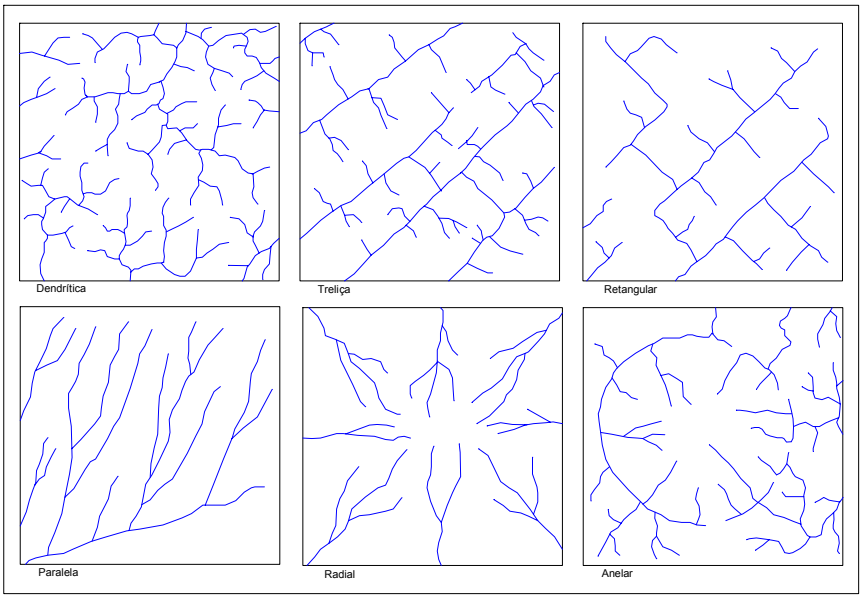

Figura 4. Classificação geométrica de padrão de drenagem

Fonte: Modificado de CHRISTOFOLETTI (1980)

drenagem dendrítica – também designada de arborescente. Ocorre tipicamente sobre litologias de resistência uniforme ou em rochas com estratificação horizontal. Invariavelmente seus entroncamentos formam ângulos agudos de graduações variadas, sem nunca formarem ângulos retos. Caso raramente ocorra a presença de ângulos retos nos padrões dendríticos, o fato se caracteriza como uma anomalia decorrente geralmente de fenômenos tectônicos superimpostos.

drenagem retangular – este padrão de drenagem é resultante do controle estrutural de fraturamento geológico exercido por falhas ou sistemas de diaclasamento ou de juntas. Situa-se em regiões onde diáclases ou falhas cruzam-se em ângulo reto. Observa-se que em determinadas ocasiões, a presença desse padrão, pode estar relacionado à composição diferenciada das camadas horizontais ou homoclinais.

drenagem paralela – padrão de drenagem que desenvolve-se em áreas onde ocorre a presença de vertentes com declividades acentuadas ou onde existam controles estruturais, motivando a ocorrência do espaçamento regular, praticamente paralelo, dos canais fluviais. Este tipo de drenagem é muito comum em regiões com lineamentos estruturais paralelos bem como em áreas de falhas paralelas.

drenagem radial – podem apresentar-se de duas formas a centrífuga ou a centrípeta. A primeira resulta de áreas onde podem ocorrer domos, cones vulcânicos, morros isolados ou relevos residuais situados acima do nível geral de erosão de um modo geral. Tendo esta como característica geral seus canais divergindo a partir de centros mais altos do relevo. Já a drenagem centrípeta apresenta o comportamento inverso onde os cursos de água convergem para as áreas mais deprimidas do relevo, como em crateras vulcânicas, grandes dolinas ou depressões topográficas abaciadas de um modo geral.

drenagem em treliça – caracteriza-se por apresentar rios principais conseqüentes, com fluxos paralelos, recebendo afluentes subseqüentes que correm em direção transversal aos primeiros. Podendo, por sua vez, os últimos receber rios obseqüentes e resseqüentes. Normalmente, suas confluências encontram-se em ângulos retos. O controle estrutural sobre esta forma de padrão de drenagem é bastante acentuado em razão da diferença de resistência entre as camadas inclinadas, com afloramentos estreitos em faixas paralelas. Através do entalhe ocasionado pelos tributários subseqüentes agindo sobre as rochas mais frágeis, propicia a formação de cristas paralelas, devido às camadas mais resistentes sobressaindo ao relevo regional.

drenagem anelar – este tipo de drenagem possui sua ocorrência em áreas dômicas profundas entalhadas em estruturas de resistência diferenciada formadas por camadas duras e moles. A acomodação dos cursos de água ocorre preferencialmente sobre os afloramentos de rochas menos resistentes, originando canais subseqüentes os quais por sua vez podem receber tributários obseqüentes e resseqüentes.

drenagens irregulares – designadas também de desarranjadas, este tipo de drenagem ocorre em áreas de soerguimento ou sedimentação recentes, onde a drenagem ainda não atingiu um padrão definido.

Para demostração prática segue a análise de uma das sub-bacias do Altíssimo Iguaçu, onde é possível evidenciar claramente a ocorrência de alguns destes padrões acima descritos.

Como anteriormente mencionado, é imprescindível a utilização de alguns parâmetros morfométricos para a caracterização da espacialidade e distribuição da rede de drenagem de uma determinada bacia hidrográfica. Através da análise das relações da morfometria dos canais é possível tecer considerações a respeito dos aspectos geológicos e geomorfológicos determinantes de tais relações de comportamento hidrogeológico superficial nas unidades geológicas presentes na área.

Utilizando-se destas análises tornou-se possível verificar e quantificar alguns aspectos da influência geológica sobre o controle da rede de drenagem. Trabalhando com nove sub-bacias formadoras da grande bacia hidrográfica do Altíssimo Iguaçu, aplicou-se a mesma relação de parâmetros em cada uma delas individualizadas. A importância das aplicações morfométricas da hierarquização fluvial, da definição dos padrões da rede de drenagem, da análise linear, da análise areal e da análise hipsométrica, está no fato que os mesmos servem de subsídios para o traçado da compartimentação morfolitoestrural e as possíveis

respostas aos diferentes modelos de uso e ocupação do solo que tais compartimentos fornecem sob o "*stress*" (impacto) das atividades antropogênicas.

Com efeitos desta demostração prática da aplicação e análise dos parâmetros morfométricos tomou-se como exemplo a sub-bacia hidrográfica do rio Pequeno, constituinte do sistema hidrográfico da bacia do Altíssimo Iguaçu onde os resultados são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2. Parâmetros morfométricos da sub-bacia do rio pequeno

PARÂMETROS	RESULTADOS	
Área da Bacia	136,47 Km^2	
Perímetro da Bacia	79.791,63 m	
Ordem da Bacia (hierarquia fluvial)	5º	
Eixo da Bacia (> dist. da desembocadura)	23.076,27 m	
Comprimento do rio principal	57.524,34 m	
Comprimento total dos rios	451,26 Km	
Densidade de drenagem – Dd	3,30	
Densidade de rios – Dr	7,36	
Relação de relevo – Rr	0,0174	
Coeficiente de manutenção - Cm	303,03	
Forma da Bacia		
Fator de forma – Ff (fator de circularidade)	0,26	
Altitude		
Altitude máxima	1273 m s. n. m.	
Altitude mínima	870 m s. n. m.	
Amplitude altimétrica	403 m	
Ordem (hierarquia)	Número de segmentos	Relação de Bifurcação - RB
1º	1005	-
2º	238	4,22
3º	55	4,32
4º	13	4,23
5º	1	13

Compreendendo um recorte espacial aproximado de 136 Km^2 a sub-bacia do rio Pequeno localiza-se no extremo sul, parte do sudoeste/sudeste da bacia hidrográfica do Altíssimo Iguaçu. Dada a sua localização esta sub-bacia apresenta maior complexidade em relação às características litológicas, estando a mesma sobre os domínios de diferentes unidades geológicas. Esta relação de complexidade evidencia-se quando observados alguns de seus parâmetros morfométricos descritos no quadro acima exposto.

Apresentando a maior área em relação às outras sub-bacias deste sistema, possui uma densidade de drenagem e de rios significativamente densa com hierarquia de 5ª ordem (Figura 5), classificada, segundo proposta de Beltrame (1994) como alta, ou seja, com índices estabelecidos entre 2,01 e 3,5. Este fator, em parte é resultante de seu embasamento geológico, rugosidade do relevo e conseqüentemente sua formação superficial. Relacionando os aspectos geológicos de sua montante para jusante observam-se suas nascentes sobre os migmatitos iniferenciados do Complexo Atuba correspondendo aos granitos Suíte Serra do Mar do Proterozóico Superior e a Formação Guaratubinha formada por seqüência vulcano-sedimentar com a presença de conglomerados, arcósios e siltitos do Eo-Paleozóico. Ainda em seu terço superior apresenta seu rio principal, encaixado em terrenos aluvionares e coluvionares do Quaternário com processos de sedimentação recentes e atuais seguindo até seu exutório onde se encontra com a sub-bacia do rio Iraí. Em seu terço médio ocorre à presença de anfibolitos, gnaisses-granodioritos migmatizados e gnaisses-granitos migmatizados do Complexo Atuba. Finalizando em seu terço inferior sobre a Formação Guabirotuba, formada principalmente por depósitos argilosos, arcósios, areias finas e diamictitos rudáceos do Quaternário e Terciário.

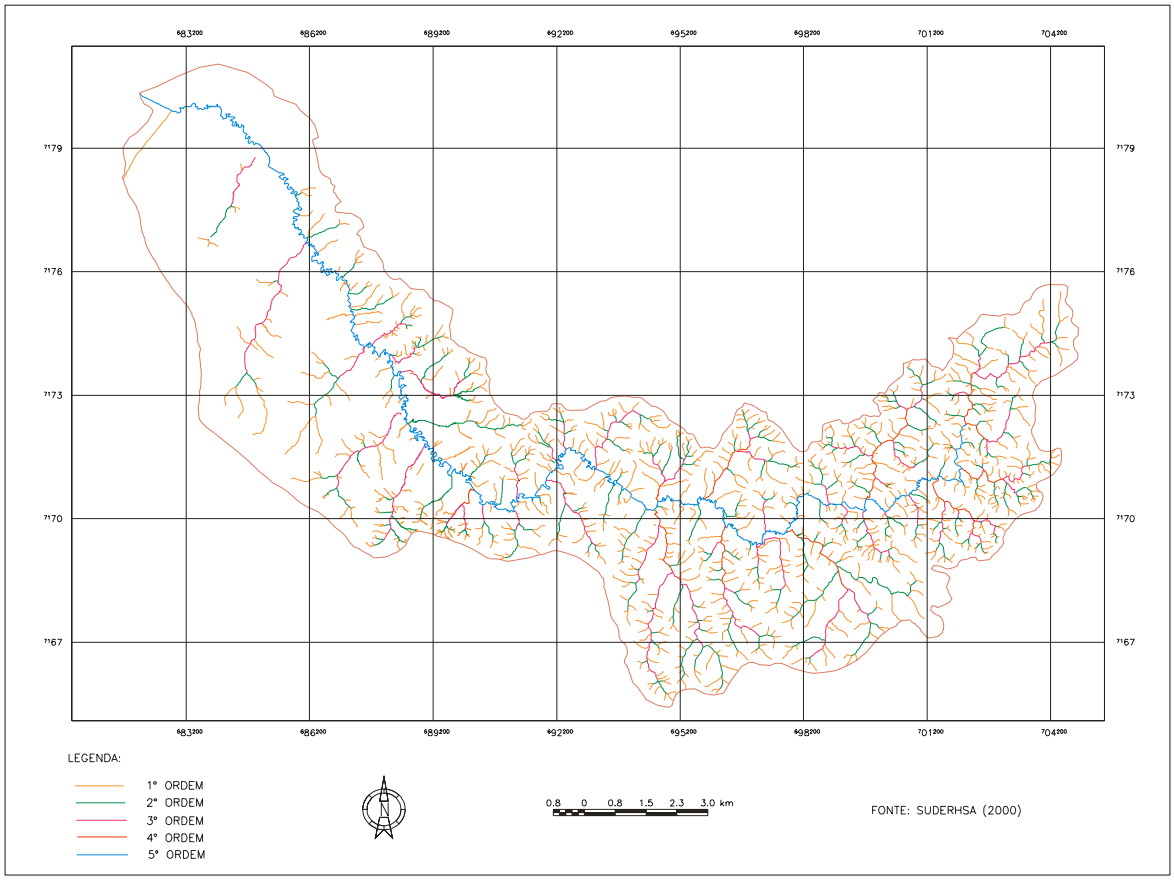

Figura 5. Hierarquia fluvial da Sub-bacia do Rio Pequeno

Apresenta em toda a área da bacia a presença de falhas e fraturas bem como a ocorrência de diques, fatores que devem ser considerados quanto à dinâmica hidrogeológica uma vez que esta estruturação é também responsável pela recarga de sub-superfície da sub-bacia. Sobre esta diversidade geológica associada ao relevo e sobre os efeitos climáticos pretéritos e presentes desenvolveram-se em seu terço superior as formações superficiais de cambissolos associados ao rubrozem, em seu terço médio os latossolos e podzólicos ao norte do curso principal e em seu terço inferior os latossolos. Os solos hidromórficos encontram-se presentes em praticamente toda a extensão da planície de inundação ou leito maior do rio Pequeno com exceção de suas nascentes que ocorrem em relevo acidentado nos contra fortes ocidentais da Serra do Mar.

Estas características geológicas associadas às classes pedológicas e clinográficas conferem terrenos com maior impermeabilidade nos terços superior e médio da sub-bacia, e terrenos mais permeáveis em seu terço inferior, justificando desta forma a maior concentração de drenagem na sua montante, onde se encontram as rochas mais resistentes.

Considerando os índices referentes à relação de relevo de 0,0174, este apresenta-se de certa forma baixo apesar da sub-bacia ter um dos maiores índices de amplitude altimétrica de aproximadamente 403 m, no entanto é também a sub-bacia com maior eixo linear considerando a distância entre a montante e a sua desembocadura. Conferindo desta maneira um equacionamento da energia hidráulica superficial, com índices energéticos maiores nos terços superior e médio diminuindo gradativamente em seu terço inferior favorecendo uma vazão lenta na sua jusante considerando sua amplitude altimétrica.

A sub-bacia em questão apresenta um coeficiente de manutenção de aproximadamente de 303 m^2 para seus canais de escoamento superficial, para que a qualidade hídrica seja mantida em seus valores físicos, químicos, biológicos e estéticos (de valor cênico), sendo este parâmetro como já mencionado um dos mais importantes nas questões de planejamento ambiental de bacias hidrográficas. Este índice de 303 m^2 por canal

considerando a densidade de drenagem e de rios da sub-bacia, torna a mesma quase que inteiramente inapropriada ao uso e ocupação do solo, se respeitado o coeficiente de manutenção.

Quanto ao fator de forma a mesma apresenta um índice de 0,26 de um limite máximo de 1, caracterizando desta maneira uma bacia hidrográfica não condicionada a inundações considerando sua forma, que neste caso específico é alongada. Porém, atenção especial deve ser tomada em seu terço inferior em relação à ocupação destas áreas, pois grande parte destas sub-bacias do sistema do Altíssimo Iguaçu converge para uma ampla planície de inundação favorável ao transbordamento do canal principal em vazões acima da média natural.

Esclarecendo o fator do controle geológico sobre a drenagem superficial, observa-se em seu terço superior o padrão geométrico dos tipos dendrítico, característico de rochas uniformes quanto à resistência; radial centrífuga, associada a relevos residuais situados acima do nível geral da superfície considerada; e paralelo caracterizando áreas com vertentes com inclinações acentuadas e unidirecionais. Em seu terço médio apresenta padrões do tipo dendrítico e paralelo, e em seu terço inferior paralelo principalmente em seu setor norte onde as vertentes apresentam-se mais curtas e íngremes (Figura 6).

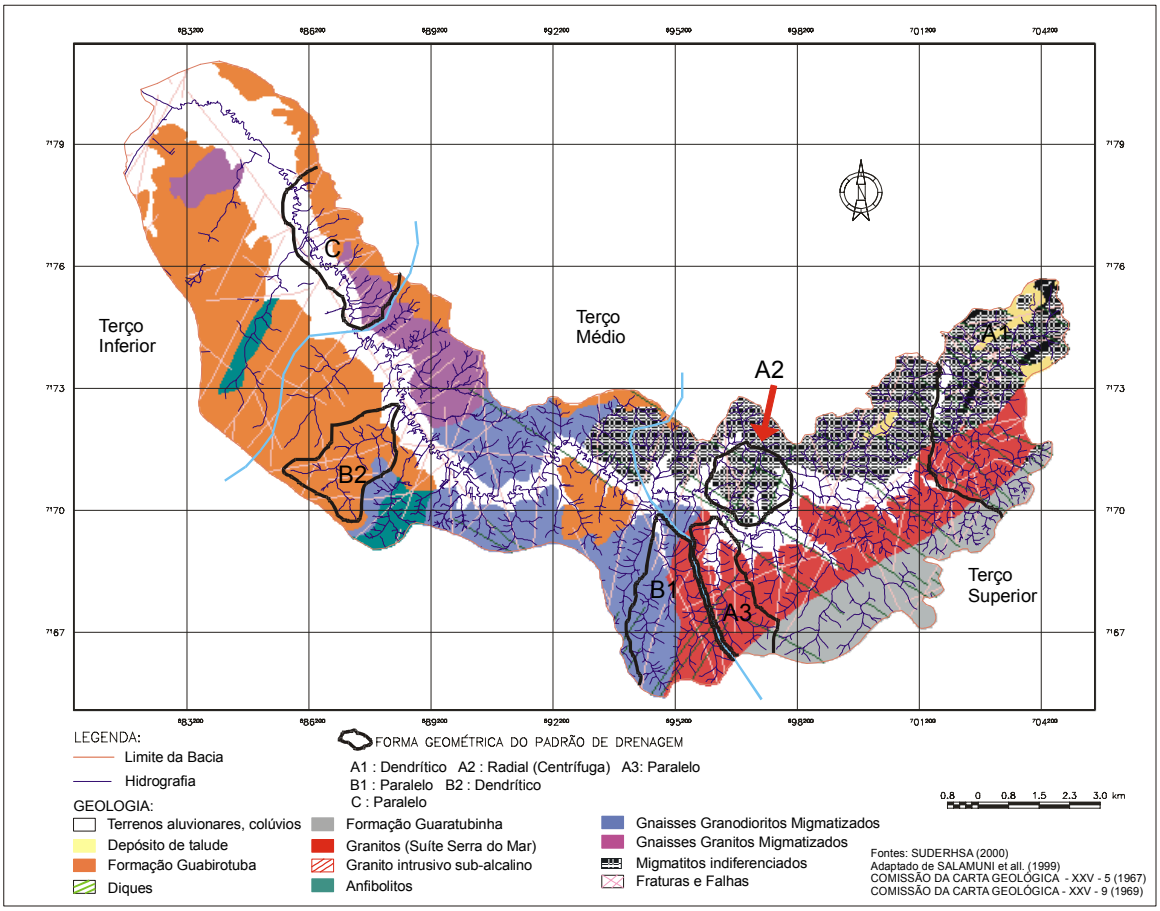

Figura 6. Geologia e Padrões de Drenagem da Sub-bacia do Rio Pequeno

Uma vez constatado a importância dos parâmetros morfométricos e sua intima relação com os aspectos geológicos, pedológicos associados aos diferentes graus de inclinação do terreno, foi possível através da utilização das geoteconologias definir classes diferenciadas de fragilidade da seguinte maneira:

Fragilidade Litoestrutural; gerada através da inter-relação entre classes litológicas com comportamento mecânico semelhante a respeito do grau de instabilidade natural, e os diferentes graus de inclinação do relevo com possibilidades de potencialização de processos de movimentos de massa (rastejos, escorregamentos, quedas e corridas), subsidências e colapsos. Produto utilizado como base para a identificação e determinação das classes de fragilidade potencial.

Fragilidade da Formação Pedológica; gerada a partir da inter-relação das classes taxonômicas de solos, com agrupamento de suas unidades presentes na área de estudo correlacionadas com os fatores de inclinação do relevo para avaliar possíveis respostas de instabilidades relacionadas a deslizamento de terras (corridas de lama e corridas de terra), processos de erodibilidade e erosividade, e potencialização para efeitos de assoreamento dos corpos d'água superficiais. Produto utilizado como fator para a determinação das classes de fragilidade potencial.

Fragilidade Potencial; produto que determina graus diferenciados de instabilidade dinâmica dos elementos físicos da natureza em condições naturais dos sistemas ambientais. Classificação gerada a partir das inter-relações entre as classes de fragilidade litoestrutural e fragilidade da formação pedológica. Produto utilizado como base para a classificação da fragilidade emergente.

Os cruzamentos entre mapas foram realizados através da programação LEGAL (Linguagem espacial para geoprocessamento algébrico) no SPRING versão 3.6 (INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), utilizando a lógica booleana, operador AND (a operação lógica do tipo A AND B retorna todos os elementos contidos na intersecção entre A e B), ou seja, ele busca as silmultaneidades entre a interseção dos mapas A e B, onde ocorrer esta simultaneidade, se programa qual será a classe resultante para o mapa C que é o produto final elaborado para análises (LIMA, 2003).

RESULTADOS

Analisando o sistema hídrico do alto curso superior do rio Iguaçu, através dos parâmetros morfométricos das suas principais sub-bacias hidrográficas, em conjunto responsáveis pela disponibilidade de água para abastecimento público de Curitiba e parte considerável de sua Região Metropolitana, é possível esclarecer as relações geológicas, geomorfológicas e morfoestruturais controladoras do sistema hidrogeológico superficial desta importante área de mananciais. Salienta-se a importância de tais elucidações, atribuindo ao conjunto dos elementos físicos e fundamentalmente suas características geológicas formadoras deste complexo sistema, grande representatividade nas decisões a serem tomadas quanto ao planejamento e gestão mais adequados de uso e ocupação do solo desta região, considerando suas competências naturais de disponibilidade de tão importante recurso, a água.

Considerando os índices referentes à densidade de drenagem e de rios perenes, de um modo geral apresentam-se altos, caracterizando a presença de terrenos com grau elevado de impermeabilidade. Relacionando estes índices com a localização espacial da área, observa-se que estes resultados se elevam consideravelmente em toda a borda leste e extremo norte da bacia hidrográfica, nos contrafortes Ocidentais da Serra do Mar e no Grupo Açungui onde se encontram as rochas mais antigas referentes ao Proterozóico Inferior e Superior e ao Eo-Paleozóico cortadas por diques pertencentes ao Mesozóico. De um modo geral as rochas associadas a esta região apresentam maior resistência e menor permeabilidade encontrando-se em relevos mais acidentados, por outro lado, a permeabilidade desta região é potencializada significativamente por esta apresentar alto índice de fraturamento. Já o centro e a borda oeste da bacia hidrográfica do alto curso do rio Iguaçu encontra-se sobre a Bacia Sedimentar de Curitiba, que apresenta rochas bastante recentes associadas, aos terrenos aluvionares e coluvionares formados a partir dos leitos maiores escavados em relevo suavizado pelo leito dos principais canais de escoamento

superficial, resultando em extensas planícies de inundação. Elevando-se acima das planícies de inundação encontra-se a Formação Guabirotuba relativo ao Oligo-Mioceno (Terciário Superior), ocupando maior extensão da área da bacia hidrográfica. Formada por depósitos argilosos, arcósios, areias e diamictitos rudáceos principalmente, apresenta maior permeabilidade justificando a diminuição da distribuição superficial da rede de drenagem no exutório de suas sub-bacias que se encontram praticamente todas sobre esta unidade geológica.

Quanto à relação de relevo, observa-se que a bacia hidrográfica de um modo geral apresenta baixos índices, considerando sua amplitude altimétrica pelo seu comprimento. Este fato traduz-se em uma drenagem energética superficial baixa, com exceção de sua borda leste e sudeste, onde ocorrem as maiores cotas altimétricas da área associadas aos contrafortes da Serra do Mar. Considerando juntamente com estas características de relevo o fator forma das sub-bacias num contexto amplo, utilizando a proposta apresentada por Beltrame (1994) para caracterizar a influência deste índice, os mesmos configuram-se baixos indicando que a bacia hidrográfica não apresenta propensão a inundações. No entanto é importante observar que estes índices são representativos, considerando-se a dinâmica natural da região e controlam as características e amplitude de seus canais maiores, cuja principal função é absorver os excessos da capacidade hídrica superficial em momentos de pico. Fato contrastável na região, onde podem ser observadas as maiores concentrações demográficas e conseqüentemente as maiores modificações estruturais da paisagem natural, substituída e ou associadas à implementação de obras urbanas.

O adensamento demográfico, além de estar localizado em áreas inadequadas ao uso do solo para urbanização, contrapõe-se ao coeficiente de manutenção. Com índices variando aproximadamente entre 300 e 700 metros, que deveriam ser respeitados quanto ao uso e ocupação do solo, adequados para garantir a integridade da qualidade e quantidade dos recursos hidrogeológicos desta importante bacia hidrográfica. Os quais praticamente em sua totalidade não são respeitados, indicando a falta ou inadequação de planejamento ambiental na região.

Como fato esclarecedor do controle estrutural geológico sobre o comportamento e distribuição dos canais superficiais nota-se que os padrões geométricos da drenagem em sua maioria são dendríticos e paralelos, indicativos de litologias muito estruturadas , e relevo condizentes como os mesmos encontrados na região. Detalhando é possível associar a ocorrência de padrões dendríticos a rochas com resistência uniforme ou em rochas com estratificação horizontais, e os padrões do tipo paralelo caracterizam áreas com presença de vertentes com inclinação acentuadas ou controle estrutural, ou seja, inclinações unidirecionais, constituídas por camadas resistentes com inclinação uniforme.

Outro fator de relevância a ser considerado é o alto grau de estruturação geológica com uma grande densidade de fraturas da área da bacia hidrográfica, há um condicionamento estreito do comportamento hídrico superficial com estas feições estruturais. Trazendo influências também na qualidade, e quantidade da água, relacionando estas feições de diáclases e falhas com a recarga de água através do nível freático para os canais de superfície e de infiltração mais profundas para a recarga dos aquíferos fraturados, comuns à região, os quais representam importantes reservas deste imprescindível recurso natural.

Observa-se com os resultados obtidos dos parâmetros morfométricos que a geologia influencia e muitas vezes controla a rede de drenagem através de suas estruturas, desta forma, utilizou-se as classes geológicas e estruturas (falhas, fraturas e diques) juntamente com a inclinação do relevo para gerar a carta de fragilidade litoestrutural, para representar áreas onde estas características físicas apresentam-se com maior potencial para a fragilidade natural.

Considerando também as relações da dinâmica dos solos em relação aos aspectos geomorfológicos (relevo), obteve-se as classes de fragilidade da cobertura pedológica. A partir da inter-relação entre estes dois tipos de fragilidade ambiental foi possível gerar a carta com a definição das classes de fragilidade potencial muito fraca, fraca, média, forte e muito forte da bacia hidrográfica (Figura 7), constituindo a base fundamental para a classificação da fragilidade emergente da região.

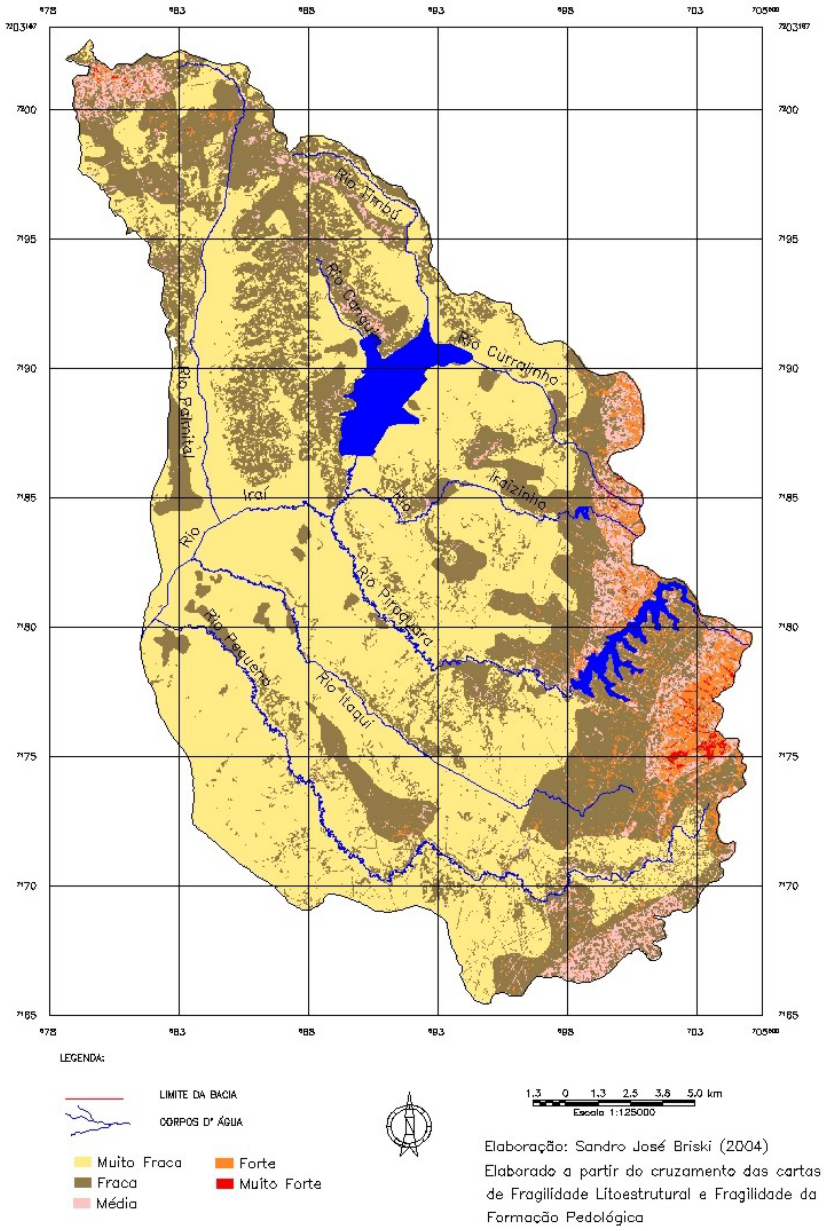

Figura 7. Fragilidade Potencial

Através dos resultados observa-se que a área se apresenta estável quanto à fragilidade potencial natural representando pouco risco à instabilidade para movimentos de massa, escorregamentos e desmoronamentos, desde que sejam mantidos seus aspectos naturais. Porém salienta-se que estas áreas estáveis à medida que sejam ocupadas tornam-se instáveis, elevando consideravelmente o grau de fragilidade emergente podendo ocasionar riscos ambientais e socioeconômicos em espaços utilizados inadequadamente.

Salienta-se que os índices morfométricos são em sua maioria quantificáveis considerando a estrutura ambiental natural e ou muito pouco modificada, sendo possível à alteração destes índices em função de determinados modelos de uso e ocupação do solo.

É inegável a importância da avaliação dos parâmetros morfométricos, e geológicos no que diz respeito à elaboração e execução de planejamento ambiental, e gestão territorial para bacias hidrográficas de um modo geral, e principalmente, para mananciais de abastecimento público, onde são de grande relevância as condições de qualidade e quantidade do recurso hídrico, que são indissociáveis dos demais fenômenos e elementos conjunturais do sistema ambiental.

Os resultados demonstrados e discutidos neste trabalho fundamentaram a designação dos graus de fragilidade potencial que por sua vez indicarão as melhores adequações de zoneamento ambiental a partir da designação da fragilidade emergente designada pela forma de uso e cobertura do solo, que por sua vez apontará as áreas com utilização conflitante, concretizando desta maneira ferramenta valiosa aos planejadores e administradores desta importante bacia hidrográfica de mananciais.

REFERÊNCIAS

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. – Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2º ed. – São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 188p.

HORTON, R. E. **Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophycal approach to quantitative morphology**. Geol. Soc. America Bulletin (1945), 56 (3), p. 275-370.

JORGE, F. N.; UEHARA, K. Águas de Superfície. **In:** OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. Geologia de Engenharia. – São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p. 101-109.

LEE, D. R.; SALLE, G. T. **A method of measuring shape**. Geographical Review (1970), 60 (4), p. 555-563.

LIMA, E. C. **Qualidade multitemporal da paisagem: Estudo de caso na floresta ombrófila mista em General Carneiro – PR**. Curitiba, 2003. 146p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná.

LOCZY, L. **Geologia estrutural e introdução à geotectônica**. São Paulo, Edgard Blücher; Rio de janeiro, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 1980.

MILLER, V. C. **A quantitative geomorphic study of drainage basins characteristic in the Clinch Mountain area**. Technical Report (1953), (3), Dept. Geology Columbia University.

SCHUMM, S. A. **Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy**. Geol. Soc. America Bulletin (1956), 67, p. 597-646.

SHEREVE, R. L. **Variations of mainstream length with basin area in river networks**. Water Resources Research (1974), 10 (6): p. 1167-1177.

STRAHLER, A. N. **Hypsometric analysis of erosional topography**. Geol. Soc. America Bulletin (1952), 63, p. 117 – 142.